

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”**

**UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**



**RENDIMIENTO DEL SORGO FORRAJERO (*Sorghum Moench*, 1794) EN PARCELA DEMOSTRATIVA BAJO FERTILIZACIÓN ECOLÓGICA (COMPOST)**

**POR:**

**ADÁN SALCEDO BALLESTEROS**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO EN AGROECOLOGÍA**

**Torreón, Coahuila, México**

**Marzo 2015**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

"RENDIMIENTO DEL SORGO FORRAJERO (*Sorghum Moench*, 1794) EN  
PARCELA DEMOSTRATIVA BAJO FERTILIZACIÓN ECOLÓGICA  
(COMPOST)"

POR:

ADAN SALCEDO BALLESTEROS

TESIS

QUE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ ASESOR COMO  
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN AGROECOLOGÍA

REVISADA POR EL COMITÉ ASESOR


ASESOR

PRINCIPAL:



DR. JESUS VASQUEZ ARROYO

ASESOR:



M.C. GENOVEVA HERNANDEZ ZAMUDIO

ASESOR:



M.C. GERARDO ZAPATA SIFUENTES

ASESOR:



DR. ALFREDO OGAZ



M.C. VICTOR MARTINEZ CUETO

Coordinación de la División de  
Carreras Agronómicas

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS.

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO, DICIEMBRE DEL 2011.  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"  
UNIDAD LAGUNA  
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TESIS DEL C. ADAN SALCEDO BALLESTEROS

QUE SOMETE A LA CONSIDERACION DEL H. JURADO EXAMINADOR,  
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO EN AGROECOLOGÍA

APROBADA POR:

PRESIDENTE:



DR. JESUS VASQUEZ ARROYO

VOCAL:



M.C. GENOVEVA HERNANDEZ ZAMUDIO

VOCAL:



M.C. GERARDO ZAPATA SIFUENTES

VOCAL:



DR. ALFREDO OGAZ



M.C. VICTOR MARTINEZ CUETO



Coordinación de la División de  
Carreras Agronómicas

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS.

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO, MARZO DE 2015.

## **AGRADECIMIENTOS**

**A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** por abrirme sus puertas y otorgarme los conocimientos necesarios para mi formación como profesional, por brindarme grandes amistades y por adquirir en ella grandes y bonitas experiencias.

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en las instalaciones del Campo Experimental La UAAAN-UL, forma parte del Proyecto: Obtención de compuesto de valor agregado a través del la descomposición de residuos lignocelulósicos agropecuarios el cual es responsable el Dr. Jesús Vásquez Arroyo.

**Al Dr. Jesús Vásquez Arroyo** por demostrarme compromiso y motivación hacia la investigación. Gracias por creer en mí por echarse este compromiso y por ser una persona muy dedicada su trabajo.

**Al Biólogo Genoveva Hernández Zamudio** primeramente por brindarme su amistad y apoyo incondicional, por su paciencia y más aún por su valiosa intervención en la elaboración y revisión de este trabajo.

**Al MC. Gerardo Zapata Sifuentes** por permitir la realización de este trabajo bajo su asesoría y por otorgar en el desarrollo del mismo, sus conocimientos adquiridos a través de su grandiosa experiencia, así como por su amistad, comprensión y sobre todo mucha paciencia.

**Al Dr. Alfredo Ogaz** por su colaboración en los estudios realizados durante la elaboración de este dicho trabajo. Por ser un buen amigo, ser paciente con migo y todos mis compañeros por ser una persona de mucho compromiso y grandes logros.

**A Q. F. B. Normas Lydia Rangel Carrillo** por ser muy buena amiga y haber apoyado la presente investigación en el Laboratorio de Suelos. Gracias por ser muy amable y muy paciente.

**Al Q.I. Juan Carlos Mejia Cruz** por el apoyo por demostrar compromiso y apoyo en esta investigación y contribuir el desarrollo del trabajo realizado en el laboratorio de suelos.

**A Q. José Silverio Alvares Valadez** por el compromiso y brindar apoyo en el levantamiento de datos de laboratorio de suelos.

**A todos mis maestros** por ese gran esfuerzo de brindarme todos sus conocimientos y por aclarar todas las dudas que en su momento surgieron durante el trayecto de mi carrera.

**Al comedor de la escuela** porque ser un punto vital para muchos estudiantes que integran la universidad autónoma agraria Antonio narro y porque al final de nuestra carrera entendemos y agradecemos tu apoyo.

**A todos mis compañeros** de generación por darme la oportunidad de conocer en ellos más que un compañero, un amigo, y por compartir con todos y cada uno de ellos grandes momentos de tristeza, alegría, amor y felicidad.

## DEDICATORIAS

### *A DIOS*

*Por brindarme todas sus bendiciones en cada momento de mi vida, por darme una familia llena de unidad, dicha, amor y felicidad y sobre todo por darme la vida.*

### *A MIS PADRES*

*Guillermo Salcedo Chávez y Sofía Ballesteros Cárdenas*

*Con todo mi cariño, respeto y amor por haberme enseñado e inculcado desde los inicios de la vida los buenos principios morales, por todo su amor, cariño y comprensión en todo los momentos de la vida, por confiar en mí y sobre todo por ese gran esfuerzo y sacrificio de encaminarme hacia los caminos del saber, la excelencia y la superación personal.*

*Por todo eso y más.... ¡Gracias padres míos!*

### *A MIS HERMANOS*

*Rosaura, Ricardo, José, Raquel y Zaira*

*Gracias por todo su apoyo, por ser en mí personas ejemplares y de gran valor sentimental, personas que siempre ocuparan lugares especiales en mi mente y en mi corazón.*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

### Contenido

<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>I</b>
<b>DEDICATORIAS</b>	<b>III</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b>	<b>IV</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS</b>	<b>VI</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>VII</b>
<b>CAPÍTULO I INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
<b>OBJETIVO:</b>	<b>5</b>
<b>HIPÓTESIS</b>	<b>5</b>
<b>CAPÍTULO II REVISION DE LITERATURA</b>	<b>6</b>
2.1. ORIGEN E IMPORTANCIA DEL SORGO.	6
2.2. DISTRIBUCIÓN MUNDIAL.	6
2.3. DISTRIBUCIÓN NACIONAL.	7
2.4. DISTRIBUCIÓN REGIONAL.	8
2.5. TAXONOMÍA Y NOMENCLATURA.	10
2.6. DESCRIPCIÓN DEL GÉNERO.	11
2.7. LOS SORGOS FORRAJEROS.	11
2.8. TIPOS.	11
2.9. ASPECTOS BOTÁNICOS.	12
2.9.1. <i>Raíz.</i>	12
2.9.2. <i>Tallo.</i>	12
2.9.3. <i>Hojas.</i>	13
2.9.4. <i>Inflorescencia.</i>	13
2.10. ETAPAS FENOLÓGICAS DEL SORGO.	13
2.11. ANTECEDENTES DE LA AGRICULTURA.	14
2.11.1. <i>Producción Orgánica.</i>	15
2.11.2. <i>Agricultura ecológica.</i>	15
2.11.3. <i>Importancia de la agricultura ecológica.</i>	16
2.11.4. <i>La agricultura ecológica en el mundo</i>	17
2.11.5. <i>Agricultura ecológica en México</i>	17
2.11.6. <i>Importancia de la materia orgánica en el suelo</i>	18
2.11.7. <i>Balance de materia orgánica</i>	18

2.11.8. <i>Extracción de nutrientes por el cultivo</i>	19
2.12. COMPOST	20
2.13. LOS NUTRIENTES ESENCIALES PARA LAS PLANTAS	22
2.13.1. <i>Requerimientos nutricionales y extracción del cultivo</i>	23
2.13.2. <i>Fijación de Nitrógeno</i>	23
<b>CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>26</b>
3.1. LOCALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO	26
3.2. PARCELA DEMOSTRATIVA	26
3.3. CULTIVO	27
3.4. TRATAMIENTOS	27
3.5. MANEJO AGRONÓMICO	27
3.5.1. <i>Siembra</i>	27
3.5.2. <i>Riego</i>	28
3.5.2. <i>Cosecha</i>	28
3.6. MUESTREO DE SUELO	29
3.7. ANÁLISIS DE SUELO	29
3.8. VARIABLES A EVALUAR	33
<b>CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSION</b>	<b>35</b>
4.1. ANÁLISIS DEL COMPOST	35
4.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN SUELO	36
4.3. CONTENIDO NUTRICIONAL EN SUELO	37
4.4. ALTURA DE LA PLANTA	38
4.5. PRODUCCIÓN DE MATERIA VERDE	39
<b>CAPITULO V CONCLUSIÓN</b>	<b>41</b>
<b>CAPITULO VI LITERATURA CITADA</b>	<b>42</b>



## ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

CUADRO 1. ESTADÍSTICA NACIONAL DEL CULTIVO DEL SORGO DEL AÑO 2013. ....	8
CUADRO 2. ESTADÍSTICA PARA LA COMARCA LAGUNERA EN EL CULTIVO DE SORGO AÑO 2013. .....	9
CUADRO 3. LA CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DEL SORGO. ....	10
CUADRO 4. ABSORCIÓN DE NUTRIENTES POR PLANTAS (KG/HA). ....	20
CUADRO 5. RIEGOS DEL CICLO DE SORGO FORRAJERO P-V DEL 2014. ....	28
CUADRO 6: PARA LA CLASIFICACIÓN DEL SUELO EN CUANTO A SU VALOR DE PH SE PRESENTA EL CUADRO SIGUIENTE:.....	29
CUADRO 7: INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS PARA LA DENSIDAD APARENTE (DA) MÉTODO AS-05. ....	30
CUADRO 8: INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS MATERIA ORGÁNICA (MO) MÉTODO AS-07.....	30
CUADRO 9: LOS RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE NITRÓGENO INORGÁNICO PUEDEN INTERPRETARSE CONFORME AL SIGUIENTE CUADRO.....	31
CUADRO 10: LOS RESULTADOS DE P POR COLORIMETRÍA PUEDEN INTERPRETARSE EN BASE AL SIGUIENTE CUADRO. ....	33
CUADRO 11. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL COMPOST EMPLEADO, UAAAN-UL, LABORATORIO DE SUELOS 2014. ....	35
CUADRO 12. CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL SUELO EMPLEADO ANTES Y DESPUÉS DE LA SIEMBRA, UAAAN-UL. LABORATORIO DE SUELOS 2014.....	37
CUADRO 13. CONTENIDO NUTRICIONAL DEL SUELO EMPLEADO.....	38
CUADRO 14. PROMEDIO DE ALTURA Y NÚMERO DE HOJAS EN AMBOS TRATAMIENTOS A LOS 78 DDS. ....	39
CUADRO 15. PRODUCCIÓN DE MATERIA VERDE (MV) Y MATERIA SECA, Y CONTENIDOS PORCENTUALES DE MS, LABORATORIO DE SUELOS UAAAN-UL 2014. ....	39
FIGURE 1: ESQUEMA DE LA EVOLUCIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA QUE LLEGA AL SUELO.....	19
FIGURE 2: DIFERENTES FUENTES DE NITRÓGENO Y SUS TRANSFORMACIONES EN EL SUELO. .....	25
FIGURE 3: SE MUESTRA EL TRIANGULO DE TEXTURAS DE SUELO. ....	32

## RESUMEN

La Agricultura de Conservación (AC) a menudo se promueve como una forma de intensificación ecológica, o parte del paradigma de la agroecología, que se basa en la capitalización de los procesos biológicos y ecológicos, más que en el uso de insumos, incluidos los fertilizantes. Sin embargo, hay tan pocos nutrientes y residuos de cultivo en la gran mayoría de los sistemas de pequeños agricultores para generar y sostener la productividad y la AC. Por lo tanto, se requieren nutrientes externos. El sorgo forrajero en México (*Sorghum Moench*, 1794), para 2013 presentó un rendimiento promedio de 20.43 Ton ha<sup>-1</sup>, genero una derrama económica de 2,407 millones de pesos. El principal objetivo de este trabajo fue evaluar el rendimiento híbrido K0115 *Sorghum bicolor x sorghum sudan* bajo fertilización ecológica (compost). Se utilizaron dos parcelas demostrativas, con (13.33 Ton ha<sup>-1</sup>) y sin compost en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna, en el ciclo Primavera-Verano del 2014. Se utilizó una densidad de siembra de 266,666 plantas ha<sup>-1</sup> con un índice de germinación del 85 por ciento. Las variables evaluadas fueron: altura de planta, número de hojas, rendimiento de forraje verde y materia seca, fertilidad del suelo antes y después de la siembra. Para la altura de planta las diferencia entre las parcelas fueron de 2.20 y 1.95 m respectivamente. El número de hojas, no presentó diferencia y el valor promedio fue de ocho hojas por planta. El rendimiento en el peso de la planta, destaco diferencia entre tratamientos, vario entre 0.156 y 0.131 kg planta. La mayor producción de forraje verde se obtuvo con la fertilización ecológica con un rendimiento promedio de 41.6 ton ha<sup>-1</sup>, así como forraje seco con 22.14 ton ha<sup>-1</sup>, superior éste a la media nacional del 2013, sin embargo, el precio del mercado de 2014, hizo poco atractivo el cultivo (550 pesos la tonelada), en base a materia seca.

**Palabras clave:** Fertilización ecológica, Compost, Agricultura, Ecológica, Sorgo forrajero.

## CAPÍTULO I INTRODUCCION

El cultivo del sorgo es el quinto cereal más importante del mundo después del trigo, maíz arroz y cebada (Flores et al., 2013). A nivel mundial, el sorgo es cultivado en una superficie de 42 millones de hectáreas con una producción anual de 58,5 millones de toneladas y es utilizado en la dieta alimenticia de 500 millones de personas en más de 30 países. En Asia y África es utilizado como cultivo alimenticio (Flores et al., 2013). La demanda de sorgo se encuentra fuertemente concentrada en países tales como: Estados Unidos de América, (11.9 Mg Ha<sup>-1</sup>), India (9.5), Nigeria (7.5) y México (6.4), que se consideran como los productores líderes (Pérez *et al.*, 2010).

En la región árida de México, la producción de sorgo puede superar 20 Ton.ha<sup>-1</sup> durante su ciclo de producción. En esta región, los mejores rendimientos se obtienen cuando las siembras se realizan en las última semana de marzo y las dos primeras semanas de abril (Núñez and Cantú, 2000).

En el noreste de México es la región con mayor producción de sorgo en el país, en donde se siembran anualmente más de un millón de hectáreas (Flores et al., 2013). Debido a la creciente demanda de forrajes que actualmente presenta el país, el sorgo forrajero constituye una fuente alternativa para cubrir los requerimientos del ganado a corto y mediano plazo principalmente en épocas críticas (Tereso et al., 2012). El sorgo bicolor es un cereal que se cultiva en regiones áridas y semiáridas y está particularmente bien adaptado a las condiciones calientes y secas (González et al., 2005).

En la región norte y centro del estado de Coahuila una de las actividades más importantes en el sector agropecuario es la ganadería; la cual utiliza como fuente principal de alimentación el agostadero. Sin embargo, en el agostadero la producción forrajera depende de la precipitación pluvial y esta varía de acuerdo a la época del año, disminuyendo la disponibilidad de forraje durante el periodo de invierno y principios de

primavera, ocasionando pérdidas en la ganadería regional (Martínez and Rordríguez., 2005).

La Comarca Lagunera, considerada como la primera cuenca lechera a nivel nacional, destaca por ser una importante región ganadera, de ahí que la producción de forraje ocupe un lugar prominente en la actividad agrícola. Del total de la superficie destinada a la agricultura en la Comarca Lagunera (196, 940 has-1), el 60 % son cultivos forrajeros y la mayor parte se destina a la alimentación de ganado bovino (Sosa, 2007).

El uso a largo plazo de los fertilizantes químicos excesivos ha dado lugar a la degeneración de parámetros de calidad del suelo tal como la biomasa microbiana del suelo, las comunidades y contenido de nutrientes, que a su vez afecta a los cultivos, la salud del suelo y la productividad sostenible (Zhen *et al.*, 2014).

Una de las principales corrientes de la agricultura sustentable es la agricultura orgánica, la cual, está basada en el uso de productos naturales, no contaminantes como las compostas y la utilización de productos autorizados para el control de los organismos dañinos y con el uso de abundante de mano de obra (Márquez *et al.*, 2006).

La Agricultura de Conservación (AC) a menudo se promueve como una forma de intensificación ecológica, o parte del paradigma de la agroecología, que se basa en la capitalización de los procesos biológicos y ecológicos, más que en el uso de insumos, incluidos los fertilizantes. Sin embargo, hay tan pocos nutrimentos y residuos de cultivo en la gran mayoría de los sistemas de pequeños agricultores para generar y sostener la productividad y la AC. Por lo tanto, se requieren nutrientes externos (Vanlauwe *et al.*, 2014).

La agricultura ecológica es un sistema de producción el cual evita o excluye por mucho el uso de componentes sintéticos usados como, fertilizantes, pesticidas, y agroquímicos en general que deterioran los suelos y la rentabilidad de los cultivos. La implementación

de este sistema de producción tanto en campo abierto como en jardines ayuda a mantener las mejores condiciones de las propiedades del suelo, ya que en este método no se utilizan productos químicos o sintéticos que dañen al suelo (Restrepo *et al.*, 2000).

Una de las alternativas de utilización en la agricultura como abono orgánico lo constituye el compost, que es el producto final de los procesos bioquímicos que sufre la basura orgánica para descomponerse y finalmente reincorporarse como tierra al ciclo natural que sigue toda materia orgánica, por lo que es poco probable que represente un daño al ambiente. Debido a que es un proceso natural, su costo de producción es bajo, además de proporcionar al suelo todas las características físicas, químicas, biológicas y de nutrición que pueden hacerlo sustentable (Sosa, 2007).

La utilización de abonos orgánicos como el estiércol bovino, compost y biosólidos, entre otros, es una práctica común en los sistemas de producción agrícola que tienen la facilidad de disponer de ellos y se utilizan los suelos agrícolas como medio de disposición, sin embargo los productores carecen de información adecuada para su aplicación óptima, es decir el problema está centrado en que los estiércoles siguen aplicándose “*al tanteo*”, mientras que los biosólidos tienen restricciones legales y tampoco se cuenta con las tecnologías para su aplicación apropiada en suelos agrícolas. No obstante, el enorme potencial de abonos orgánicos que se tiene en México, aún no se reflejan sus ventajas tanto en la productividad agropecuaria como en el mejoramiento de suelos y eficiencia del uso de agua (García *et al.*, 2010).

Se han realizado varias investigaciones en agricultura orgánica desde perspectivas técnicas, los rasgos económicos o relacionados con aspectos ecológicos. El problema es que es necesario hacer evaluaciones de la producción de forrajes con manejo ecológico para así reducir la contaminación y costos de producción además de conservar las propiedades del suelo. Una de las alternativas para disminuir esta problemática es la siembra bajo riego de especies forrajeras como el sorgo forrajero y el sorgo x zacate Sudán; ya que estos tienen la característica de poder usarse bajo

pastoreo, en verdeo, en henificado o ensilado. Además, estos forrajes tienen una alta capacidad de rebrote; característica que permite realizar hasta tres cortes por ciclo (Pérez *et al.*, 2010).

Mitigación de las pérdidas en fósforo (P) y nitrógeno (N) de tierras agrícolas es un gran desafío para la agricultura moderna. Los cultivos y sistemas de cultivo modernos que pueden eliminar eficientemente los nutrientes del suelo con superávit, que de otro modo se perderían potencialmente, tiene que ser identificado. Un cultivo intermedio (o "cultivo de cobertura") pueden ser cultivadas para reducir las pérdidas de éstos en el período entre dos cosechas principales, cuando hay otra manera sin el recubrimiento de cultivos. Éstos, son una opción potencial para reducir pérdidas de fósforo (P), pero poco se sabe acerca del éxito en su establecimiento y capacidad de retención de P en suelos arcillosos en regiones con otoños cortos (Liu *et al.*, 2015).

### **OBJETIVO:**

Evaluar el rendimiento de *Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense* con fertilización ecológica (compost) y contenido de nutrimentos en el suelo.

### **HIPÓTESIS**

El compost puede reducir la necesidad de fertilizantes de síntesis industrial y mejorar las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo.

## CAPÍTULO II REVISION DE LITERATURA

### 2.1. Origen e importancia del sorgo.

El origen de este cultivo ha sido discutido a través de los años, ya que se plantea que procede del noreste de África, en la región ocupada por Etiopía, aunque se ubicó inicialmente en la India. Se introdujo en América en el siglo XVIII (Adugna et al., 2013). Se considera que muchas especies distintas se cultivan de forma esporádica en países de América, y que los sorgos actuales son híbridos de esas introducciones o de mutantes que han aparecido, por tanto, las variedades de sorgo pueden ser útiles en los programas de mayor tolerancia a la radiación (Kataria and Guruprasad, 2012). Este cultivo tiene gran importancia a escala mundial, pues está comprobado que puede sustituir cereales como el trigo y el maíz en la mayoría de los usos de estos, tanto en la alimentación humana como en la producción de forraje o grano para la ceba de animales, y también en la industria. A su vez posee alto potencial de producción de granos y buenas perspectivas de contribución al desarrollo de la agricultura (Ribeiro et al., 2007) y (Pérez *et al.*, 2010).

### 2.2. Distribución mundial.

El sorgo es nativo de África, y muchas variedades de hoy son originadas allí. También fue producido en la India antes de que la historia lo registrara y en Asia desde 700 A.C. La cosecha alcanzó a China durante el siglo decimotercero y el hemisferio occidental mucho más adelante. El sorgo dulce fue introducido a los Estados Unidos de África en la parte anterior del decimoséptimo siglo. No creció extensivamente en este país hasta el 1850, hasta que el ámbar del negro de la variedad del forraje (también llamado "caña de azúcar china") fue introducido de Francia. Muchas otras variedades se han introducido de otros países o se han desarrollado desde entonces nacionalmente (FAO, 2002).



El Sorgo es un cereal tradicional en muchos países de África y Asia, el cual fue introducido y mejorado genéticamente en el hemisferio occidental particularmente por su tolerancia a la sequía, suelos alcalinos y salinos y temperaturas extremas, en comparación con otros cereales. El cultivo se adapta desde el nivel del mar hasta altitudes de 3,000 metros sobre el nivel del mar y en un rango que va desde los 40° de latitud Sur hasta los 45° de latitud Norte. Su alta eficiencia fotosintética y en uso del agua, así como su alto contenido de proteína, lo ha situado como un cereal alternativo para la alimentación humana y animal (FAO, 2002).

Durante la segunda mitad del siglo XX, la superficie sembrada de sorgo en el mundo se ha incrementado en 60% con un aumento en producción del 244%. Para dicha superficie alcanzó cerca de 40 millones de hectáreas, con una producción cercana a 52 millones de toneladas (FAO, 2002).

A nivel mundial, el sorgo es cultivado en una superficie de 42 millones de hectáreas con una producción anual de 58,5 millones de toneladas y es utilizado en la dieta alimenticia de 500 millones de personas en más de 30 países. En Asia y África es utilizado como cultivo alimenticio (Flores *et al.*, 2013). El sorgo es el quinto cereal en importancia al nivel mundial y el tercero en el flujo internacional de granos forrajeros con el 7% del total, sólo superado por el maíz y la cebada con el 72% y 17%, respectivamente. La demanda de sorgo se encuentra fuertemente concentrada en países tales como: Estados Unidos de América, con una producción de 11,9 millones de toneladas de grano, India (9,5 Mt), Nigeria (7,5 Mt) y México (6,4 Mt), que se consideran como los productores líderes (Pérez *et al.*, 2010).

### **2.3. Distribución Nacional.**

El sorgo en México empezó a adquirir importancia aproximadamente en el año de 1958, en la zona norte de Tamaulipas, al iniciarse el desplazamiento del cultivo del algodón en aquella región y es uno de los cultivos que día con día va adquiriendo cada vez más importancia (Cuadro 1) (Rodríguez, 2007).

En México, el sorgo está considerado como un grano forrajero por excelencia, por su aportación al fomento y desarrollo de especies pecuarias proveedoras de alimentos básicos y de bajo precio relativo para la población, como las carnes de ave y cerdo, a su vez y de manera progresiva, la industria de alimentos balanceados se ha convertido en una actividad importante para la avicultura y la porcicultura (FAO, 2002).

El sorgo se considera como uno de los principales cultivos de la llamada agricultura comercial, ya que en gran parte del país se produce con altos niveles tecnológicos. Su expansión en los últimos cuarenta años, se encuentra asociada al acelerado crecimiento de la actividad ganadera, factor que ha generado una extensa demanda para cubrir las necesidades de la industria de alimentos balanceados. También ha contribuido en su dinamismo, la diferencia entre los precios respecto al maíz, el rápido crecimiento en los rendimientos, así como el uso generalizado de semillas mejoradas y fertilizantes en su proceso productivo (Núñez and Cantú, 2000).

La cantidad y calidad del forraje depende del cultivar utilizado. En general, sorgos altos dan mayores rendimientos tanto de materia verde como materia seca, caracterizándose además por ser forrajes palatables de buen valor nutritivo (Sosa, 2007).

**Cuadro 1. Estadística nacional del cultivo del sorgo del año 2013.**

Sup. Sembrada (Ha)	Sup. Cosechada (Ha)	Producción (Motonami et al.)	Rendimiento (Ton/Ha)	PMR (\$/Ton)	Valor Producción (Miles de pesos)
235,955.74	233,684.59	4,785,767.37	20.48	503.07	2,407,570.81

Fuente: (SIAP, 2014).

#### **2.4. Distribución regional.**

Comunidades rurales en pobreza extrema con menos de 2 mil 500 habitantes, localizadas en las zonas áridas y semiáridas de los estados de: Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Coahuila, Chihuahua, Durango, Guanajuato, Hidalgo,

México, Nuevo León, Oaxaca, Querétaro, San Luis Potosí, Sonora, Tamaulipas, 443 Tlaxcala y Zacatecas, que comprenden 634 municipios. Con excepción de Baja California y México. Siendo sus principales actividades la agricultura de temporal, ganadería, minera y recolección de especies silvestres, como también cultivos resistentes a las condiciones de temporal y por lo tanto es donde se valorizan los cultivos de temporal como cereales y leguminosas, encontrándose entre ellos el trigo, maíz, cebada, arroz y sorgo este siendo gran soporte económico para familias campesinas en las regiones de Coahuila, Tamaulipas y Nuevo León (Rodríguez, 2007).

La comarca lagunera está ubicada dentro de la Región Hidrológica No. 36, en la porción suroeste del estado de Coahuila y el Noreste de Durango, constituida por la Sub-Regiones hidrológicas Río Aguanaval, Río Nazas Torreón, Laguna de Mayran y Viesca, presa Lazaro Cardenas y Río Nazas Rodeo (Santamaría *et al.*, 2006).

En la región árida de México, la producción de sorgo puede superar 20 t ha<sup>-1</sup> durante su ciclo de producción (Cuadro 2). En esta región, las mejores producciones se obtienen cuyo las siembras se realizan en las última semana de marzo y las dos primeras semanas de abril (Núñez and Cantú, 2000).

**Cuadro 2. Estadística para la comarca lagunera en el cultivo de sorgo año 2013.**

Sup. Sembrada (Ha)	Sup. Cosechada (Ha)	Producción (Motonami et al.)	Rendimiento (Ton/Ha)	PMR (\$/Ton)	Valor Producción (Miles de pesos)
<b>1,213.00</b>	<b>1,213.00</b>	<b>50,210.00</b>	<b>41.39</b>	<b>468.59</b>	<b>23,527.90</b>

Fuente: (SIAP, 2014).

## 2.5. Taxonomía y nomenclatura.

El término taxonomía fue acuñado por De Candolle en 1813, en el herbario de Génova (Taxonomie), para referirse a la teoría de la clasificación de las plantas (Sánchez, 2011). La clasificación es el proceso de división sistemático de los organismos en grupos: la especie es el nivel de división mínimo y el más definitivo. La clasificación se refiere al agrupamiento de especies descritas en géneros mediante familias, órdenes, clases y Phylum o División según el caso (Forturbel *et al.*, 2007), (Cuadro 3).

La nomenclatura se ha sometido a la taxonomía debido a las necesidades de establecer una serie de nombres a los organismos vivos y reglas que los rigen, estas reglas se encuentran en un código internacional de nomenclatura (Sánchez, 2011).

Según (Pérez *et al.*, 2010) la taxonomía del (*Sorghum bicolor*) se encuentra publicado en el libro Methodus Plantas Horti Botanici et Agri Marburgensis, es un libro con descripciones botánicas que fue escrito por el botánico Conrad Moench y publicado en Marburgo en el año 1794.

**Cuadro 3. La clasificación taxonómica del sorgo.**

<b>Dominio</b>	<b>Eucaria</b>
<b>Reino</b>	Plantae
<b>División</b>	Magnoliophyta
<b>Clase</b>	Liliopsida
<b>Orden</b>	Poales
<b>Familia</b>	Poaceae
<b>Subfamilia</b>	Panicoideae
<b>Tribu</b>	Yropogoneae
<b>Género</b>	<i>Sorghum Moench 1794</i>

Fuente: (Pérez *et al.*, 2010).

## **2.6. Descripción del género.**

El sorgo se conoce con varios nombres: mijo grande y maíz de guinea en África occidental, kafir en África austral, duro en el Sudán, mtama en África oriental, iowar en la India y kaoliang en China según (Duke, 1983) citado por (Pérez *et al.*, 2010). Se le denominó sorgo por la capacidad de crecer hasta alcanzar una altura elevada; el nombre procede del latín *surgere* (Granillo, 2006).

Los sorgos forrajeros pertenecen a la misma especie que los sorgos de grano (*Sorghum bicolor*), mientras que el pasto sudan se considera perteneciente a especie distinta (*Sorghum sudanense*). Muchos botánicos estiman ambas plantas pueden reunirse en una sola especie e incluyen el pasto Sudan en una variedad botánica de sorgo (*Sorghum bicolor x Sudanense*) (Besnier, 1996).

## **2.7. Los sorgos forrajeros.**

Los sorgos forrajeros son bastante distintos a los modernos híbridos enanos de sorgo de grano, pero no distintos a las variedades antiguas. Las plantas son altas, con tallo más jugoso y hojas generalmente más finas y abundantes que el sorgo de grano; ahíjan más profundamente y su panoja es más abierta (Besnier, 1996).

## **2.8. Tipos.**

No todos los sorgos forrajeros son del mismo tipo (Adugna, 2013). Puede decirse que existen todas las gradaciones posibles entre el sorgo de grano enano de panoja compacta y sorgo forrajero típico, bastante parecido al pasto sudan. Para ello lo dividimos en dos grupos:

- *Sorgos forrajeros típicos*, de elevada altura, tallo fino, profusamente ahijado y con mucho jugo azucarado, hojas numerosas y finas, y panoja muy laxa, con granos totalmente encerrados por las glumas (Besnier, 1996, Romero et al., 2002).
- *Sorgo forrajero*, de tallo más grueso y más corto, menos jugoso, con menos número de hojas más bastas y panoja semilaxa o compacta, con grano semicubierto por las glumas (Besnier, 1996, Romero et al., 2002).

Algunas variedades de sorgo presentan mayores producciones de materia verde (MV) y materia seca (MS) que el maíz. Además, el sorgo ha sido considerado como una buena alternativa de cultivo próximo a centros urbanos, donde los cultivos de maíz están sujetos a la cosecha de las espigas para consumo humano, produciendo grandes perjuicios a los productores, dado que la espiga representa de 40-50% de la materia seca del maíz en la época de ensilaje y tiene efectos significativos en la calidad de los ensilajes (Ribeiro et al., 2007).

## **2.9. Aspectos botánicos.**

### **2.9.1. Raíz.**

El sistema radical adventicio fibroso se desarrolla de los nudos más bajos del tallo. La profundidad de enraizado es generalmente de 1 a 1.3 metros, con 80% de las raíces en los primeros 30 centímetros. El número de pelos absorbentes puede ser el doble que en maíz, las raíces de soporte pueden crecer de primordios radicales, pero no son efectivas en la absorción de agua y nutrientes (Zeledón *et al.*, 2012).

### **2.9.2. Tallo.**

El sorgo es una planta de un solo tallo, pero puede desarrollar otros (hijos) dependiendo de la variedad y el ambiente; está formado de una serie de nudos y entrenudos, su longitud varía de 0.5 a 4 metros, su diámetro de 0.5 a 5 cm cerca de la

base, volviéndose más angosto en el extremo superior; su consistencia es sólida con una corteza o tejido exterior duro y una médula suave. Los tallos tienen de 7 a 24 nudos y son erectos (Zeledón *et al.*, 2012).

### **2.9.3. Hojas.**

El número de hojas varía de 7 a 24 según la variedad y el período de crecimiento, son erectas hasta casi horizontales y se encorvan con la edad. La longitud de una hoja madura oscila entre 30 a 135 cm y su ancho entre 1.5 a 15 cm; son alternas y lanceoladas o linear-lanceoladas, con una superficie lisa y cerosa (Zeledón *et al.*, 2012).

### **2.9.4. Inflorescencia.**

Es una panícula de racimo con un raquis central completamente escondido por la densidad de sus ramas o totalmente expuesto, cuyo está inmadura es forzada hacia arriba dentro de la vaina más alta (buche), después que la última hoja extendiéndola a su paso. La excersión es importante para la cosecha mecanizada y para la tolerancia de plagas y enfermedades. La panícula es corta o larga, suelta y abierta, y compacta o semicompacta. Puede tener de 4 a 25 cm de largo, 2 a 20 cm de ancho y contener de 400 a 800 granos, según el tipo de panícula (Zeledón *et al.*, 2012).

## **2.10. Etapas fenológicas del sorgo.**

El cultivo del sorgo presenta tres etapas fenológicas bien definidas, con una duración de aproximadamente 30 días cada una, dependiendo de la variedad que se utilice así como de las condiciones agroclimáticas (Zeledón *et al.*, 2012).

## Etapa 1

Vegetativa, comprende desde la siembra hasta el inicio de los primordios florales. Inicia con la imbibición del agua por la semilla, paso por la formación de la radícula, del coleóptilo, crecimiento de hojas y tallo, finalizo al inicio del primordio floral (Zeledón *et al.*, 2012).

## b) Etapa 2

Reproductiva, se inicia con la emergencia del primordio floral, continua con iniciación de ramas primarias, secundarias; agrandamiento del ápice floral, glumas, espiguillas, formación de florcillas con sus estambres y pistilos, finalizo con la maduración de los órganos reproductivos (Zeledón *et al.*, 2012).

## c) Etapa 3

Comprende: polinización, fecundación del ovario, desarrollo y maduración del grano (Zeledón *et al.*, 2012).

## **2.11. Antecedentes de la agricultura.**

Los abonos orgánicos fueron los primeros fertilizantes utilizados por el hombre para favorecer el crecimiento de las plantas y aumentar la producción de las cosechas. El planteamiento de la teoría de la nutrición mineral a mediados del siglo XIX por Von Liebig llevó a la conclusión que dichos abonos podían ser sustituidos por abonos o fertilizantes minerales, por lo que estos comenzaron a producirse a gran escala un siglo después (Sosa, 2007). La respuesta positiva de los cultivos a su utilización y el aumento de los rendimientos de estos llevó a pensar que se había encontrado la respuesta inequívoca de la agricultura. Sin embargo, posteriormente, debido a su uso excesivo junto con otras prácticas agrícolas inadecuadas se comenzaron a ver efectos negativos en los suelos y fuentes de agua adyacentes. Estos incluyen contaminación de acuíferos, eutrofización, pérdida por lavado, lixiviación, escorrentía y volatilización, pero también efectos nocivos para la atmósfera a través de la acumulación de



compuestos secundarios de su producción. Así surge una corriente ecológica de la agricultura que promueve la utilización de sustancias y prácticas menos nocivas para el ambiente, incluyendo los organismos que viven en este. La biotecnología aparece entonces con herramientas que ponen en beneficio del hombre muchos de los servicios que prestan los organismos del suelo para mantener la fertilidad del mismo y la productividad de los cultivos (Sosa, 2007).

### **2.11.1. Producción Orgánica.**

Los alimentos orgánicos son obtenidos de animales, vegetales, sus productos y subproductos, elaborados y procesados de manera amigable con el ambiente, de manera ecológica, cumpliendo con la regulación nacional, evitando el uso de productos sintéticos, como pesticidas, herbicidas y fertilizantes artificiales, brindando la confianza de que han sido certificados para ser denominados y comercializados como “orgánicos” en su etiquetado (SAGARPA, 2014).

Estos productos ostentan el Distintivo Nacional “ORGÁNICO SAGARPA MEXICO”, el cual es regulado por la Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), a través del SENASICA, quien tiene a su cargo el Sistema de Control para asegurar la integridad de los productos orgánicos de México (SAGARPA, 2014).

### **2.11.2. Agricultura ecológica.**

La producción ecológica en México es relativamente nueva, sin embargo, el sistema de producción de alimentos de nuestros antepasados era agricultura ecológica. Existen distintas definiciones de agricultura orgánica, entre las cuales se presenta la siguiente: la agricultura ecológica proscribiera el empleo total de plaguicidas y se basa en la aplicación de abonos orgánicos y prácticas agrícolas que están diseñadas para restablecer y mantener un balance ecológico de la biodiversidad (García et al., 2010).

En México los principales estados productores de alimentos orgánicos son Chiapas, Oaxaca, Michoacán, Chihuahua y Guerrero, que concentran 82.8% de la superficie orgánica total. Tan sólo Chiapas y Oaxaca cubren 70% del total. En el país se cultivan más de 45 productos orgánicos, de los cuales el café es el más importante por superficie cultivada, con 66% del total (70 838 ha) y una producción de 47 461 ton; en segundo lugar se ubica el maíz azul y blanco, con 4.5% de la superficie (4 670 ha) y una producción de 7 800 ton, y en tercer lugar está el ajonjolí, con 4% de la superficie (4 124 ha) y una producción de 2 433 ton; a estos cultivos les siguen en importancia las hortalizas con 3 831 ha; el agave, con 3 047 ha las hierbas, con 2 510 ha; el mango con 2 075 ha; la naranja, con 1 849 ha; el frijol, con 1 597 ha; la manzana, con 1 444 ha; la papaya, con 1 171 ha, y el aguacate con 911 ha. También, aunque en menor superficie, se produce soya, plátano, cacao, vainilla, cacahuete, piña, jamaica, limón, coco, nuez, lichi, garbanzo, maracuyá y durazno. Otros tipos de productos que también se obtienen con prácticas orgánicas son: miel, leche, queso, pan, yogurt, dulces y cosméticos (SAGARPA, 2014).

### **2.11.3. Importancia de la agricultura ecológica.**

La producción ecológica (orgánica) de alimentos es una alternativa para los consumidores que prefieren alimentos libres de agroquímicos y fertilizantes sintéticos y con alto valor nutricional (Márquez *et al.*, 2006). La agricultura ecológica es un sistema de producción el cual evita o excluye por mucho el uso de componentes sintéticos usados como, fertilizantes, pesticidas, y agroquímicos en general que deterioran los suelos y la rentabilidad de los cultivos. La implementación de este sistema de producción tanto en campo abierto como en jardines ayuda a mantener las mejores condiciones de las propiedades del suelo, ya que en este método no se utilizan productos químicos o sintéticos que dañen al suelo (Restrepo *et al.*, 2000).

#### **2.11.4. La agricultura ecológica en el mundo**

La agricultura ecológica ha despertado gran interés, no solo en los sectores que están relacionados con el sector agropecuario y la economía rural en su conjunto, sino también en amplios sectores de la sociedad. Este gran interés empezó en los países desarrollados hace ya más de dos décadas (Tereso et al., 2012). La reconversión progresiva hacia la agricultura orgánica, la investigación, las actividades de transformación, comercialización y consumo de productos también llamados biológicos ha registrado un comportamiento de gran dinamismo. Durante los últimos años, se ha registrado un comportamiento muy dinámico en la demanda y el consumo de productos orgánicos, sobre todo en los países desarrollados. La explicación reside en la preocupación creciente de la población con relación a la ingesta de productos alimenticios inocuos, sanos, de los cuales se conozca su origen y trayectoria real, así como la mayor conciencia por la conservación del medio ambiente, y algunas posiciones de solidaridad con grupos sociales menos favorecidos en los países en vías de desarrollo (Zamorano and Rios, 2005).

#### **2.11.5. Agricultura ecológica en México**

El desarrollo de la agricultura ecológica en México ha sido sorprendente; surgió desde la década de los años ochenta en solo algunos lugares y en pocos años se ha extendido a muchos otros multiplicando su superficie e incursionando cada vez más en nuevos productos, constituyéndose en una opción económicamente viable para miles de productores campesinos e indígenas de escasos recursos (García *et al.*, 2010).

Una agricultura sostenible no es posible sin sostenibilidad del suelo, pero a su vez el suelo no puede ser sostenible sin una cantidad satisfactoria de materia orgánica del suelo, y esta depende en gran medida de la adición de materia orgánica y la forma en que esta es manejada (Price et al., 2013). La dependencia de la agricultura sostenible en la materia orgánica se origina de los muchos efectos beneficiosos tanto de la materia orgánica (OM) como de la materia orgánica del suelo (Jaramillo, 2012 )

La fertilización orgánica combina perfectamente con los métodos de labranza de conservación; ambas disciplinas son sistemas de producción de bajos costos, no dañan el medio ambiente y aumentan la productividad del suelo de mediano a largo plazo (Meza, 2009).

#### **2.11.6. Importancia de la materia orgánica en el suelo**

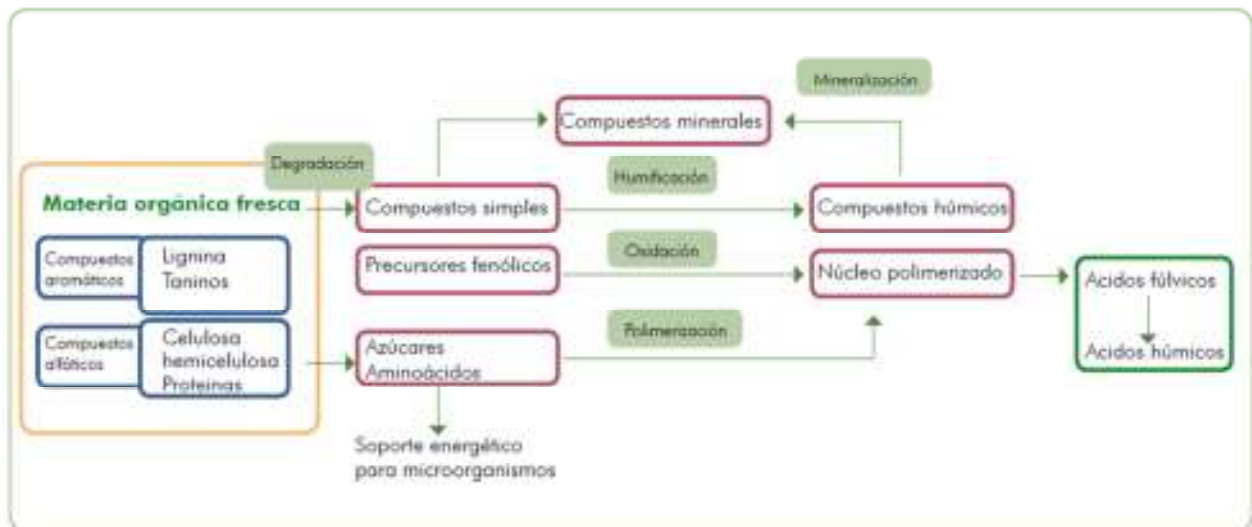
La materia orgánica es uno de los más importantes componentes del suelo. Si bien nos imaginamos que es un solo compuesto, su composición es muy variada, pues proviene de la descomposición de animales, plantas y microorganismos presentes en el suelo o en materiales fuera del predio. Es justamente en esa diversa composición donde radica su importancia, pues en el proceso de descomposición, muy diversos productos se obtienen, que actúan como ladrillos del suelo para construir materia orgánica (Román et al., 2013). Aunque no existe un concepto único sobre la materia orgánica del suelo, se considera que la materia orgánica es cualquier tipo de material de origen animal o vegetal que regresa al suelo después de un proceso de descomposición en el que participan microorganismos. Puede ser hojas, raíces muertas, exudados, estiércoles, orín, plumas, pelo, huesos, animales muertos, productos de microorganismos, como bacterias, hongos, nematodos que aportan al suelo sustancias orgánicas o sus propias células al morir. Estos materiales inician un proceso de descomposición o de mineralización, y cambian de su forma orgánica (seres vivos) a su forma inorgánica (minerales, solubles o insolubles) (Román et al., 2013). Estos minerales fluyen por la solución de suelo y finalmente son aprovechados por las plantas y organismos, o estabilizados hasta convertirse en humus, mediante el proceso de humificación (Forturbel et al., 2007).

#### **2.11.7. Balance de materia orgánica**

El contenido de materia orgánica estable del suelo comúnmente llamado humus, es el resultado del equilibrio entre dos procesos: la descomposición y estabilización de los nuevos aportes de materia fresca y la mineralización de aquella preexistente. Es por

ello que no solo es útil conocer el valor absoluto del contenido de materia orgánica en el suelo, sino también la velocidad con la que ésta evoluciona y el equilibrio al que tienden los procesos de humificación y mineralización (Figura 1). El predominio de uno de estos procesos, humificación o mineralización, sobre el otro, depende de muchos factores como la composición de los restos orgánicos aportados, la actividad biológica del suelo, la humedad, la temperatura, las propiedades físico-químicas del suelo, etc. (Ribó, 2003). Estiércoles y subproductos agrícolas son materias primas adecuadas para elaborar un producto final estable cumpliendo con los parámetros reglamentarios para lograr control patógeno convencional (Price et al., 2013).

**Figure 1: Esquema de la evolución de la materia orgánica que llega al suelo.**



Fuente: (Román et al., 2013).

### 2.11.8. Extracción de nutrientes por el cultivo

Cuando se cultivan especies vegetales de forma continua sin restitución de nutrientes se produce una disminución a largo plazo del rendimiento de la cosecha (Pholsen and Suksri, 2007) (Cuadro 3), (AGROLAB, 2010). Es así de una gran importancia conocer la cantidad de nutrientes que salen del agrosistema en función de la especie vegetal que se está cultivando, ya que hay cultivos que extraen grandes cantidades de nutrientes del suelo y que, sin la aportación de fertilizantes desde una fuente externa, pueden provocar una gran disminución en las reservas de determinados nutrientes del

suelo y que descienda la producción de los siguientes cultivos. Por el contrario, otros cultivos son capaces de aportar grandes cantidades de nitrógeno y materia orgánica al suelo, pudiendo restablecer el equilibrio alterado. De esta manera, Lampkin (1998) hace una distinción entre cultivos que contribuyen a mantener el nivel de nutrientes y materia orgánica del suelo, los neutrales y los que provocan una pérdida en el contenido de estos constituyentes del suelo (Román et al., 2013).

**Cuadro 4. Absorción de nutrientes por plantas (Kg/Ha).**

<b>CULTIVO</b>	<b>N</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>	<b>OPTIMO</b>
<b>SORGO SUDAN</b>	359	137	522	54		20 tons/Ha
<b>SORGO FORRAJERO</b>	222	75	320	39	20	20 tons/Ha

Fuente: (AGROLAB, 2010).

## **2.12. Compost**

El compostaje es un proceso biológico, que ocurre en condiciones aeróbicas (presencia de oxígeno). Con la adecuada humedad y temperatura, se asegura una transformación higiénica de los restos orgánicos en un material homogéneo y asimilable por las plantas (Román et al., 2013). El compostaje es un proceso de transformación microbiana de la materia orgánica. Es un proceso biotecnológico que combina fases mesófilas y termófilas, sumamente eficaz en la descomposición y estabilización de la materia orgánica como consecuencia de las actividades metabólicas de una amplia gama de microorganismos, cuyo crecimiento está condicionado por la temperatura de la masa, el porcentaje de humedad y la concentración de oxígeno, así como la naturaleza variable del sustrato (Sztern and Pravia, 2013).

Es posible interpretar el compostaje como el sumatorio de procesos metabólicos complejos realizados por parte de diferentes microorganismos, que en presencia de oxígeno, aprovechan el nitrógeno (N) y el carbono (C) presentes para producir su

propia biomasa. En este proceso, adicionalmente, los microorganismos generan calor y un sustrato sólido, con menos C y N, pero más estable, que es llamado compost (Román et al., 2013).

Al descomponer el C, el N y toda la materia orgánica inicial, los microorganismos desprenden calor medible a través de las variaciones de temperatura a lo largo del tiempo (Román et al., 2013). Según la temperatura generada durante el proceso, se reconocen tres etapas principales en un compostaje, además de una etapa de maduración de duración variable. Las diferentes fases del compostaje se dividen según la temperatura, en:

**Fase Mesófila.** El material de partida comienza el proceso de compostaje a temperatura ambiente y en pocos días (e incluso en horas), la temperatura aumenta hasta los 45°C. Este aumento de temperatura es debido a actividad microbiana, ya que en esta fase los microorganismos utilizan las fuentes sencillas de C y N generando calor. La descomposición de compuestos solubles, como azúcares, produce ácidos orgánicos y, por tanto, el pH puede bajar (hasta cerca de 4.0 o 4.5). Esta fase dura pocos días (entre dos y ocho días) (Román et al., 2013).

**Fase Termófila o de Higienización.** Cuando el material alcanza temperaturas mayores que los 45°C, los microorganismos que se desarrollan a temperaturas medias (microorganismos mesófilos) son reemplazados por aquellos que crecen a mayores temperaturas, en su mayoría bacterias (bacterias termófilas), que actúan facilitando la degradación de fuentes más complejas de C, como la celulosa y la lignina (Sztern and Pravia, 2013). Estos microorganismos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco por lo que el pH del medio sube. En especial, a partir de los 60 °C aparecen las bacterias que producen esporas y actinobacterias, que son las encargadas de descomponer las ceras, hemicelulosas y otros compuestos de C complejos. Esta fase puede durar desde unos días hasta meses, según el material de partida, las condiciones climáticas y del lugar, y otros factores (Jaramillo, 2012 ).

Esta fase también recibe el nombre de fase de higienización ya que el calor generado destruye bacterias y contaminantes de origen fecal como *Escherichia coli* y *Salmonella spp.* Igualmente, esta fase es importante pues las temperaturas por encima de los 55°C eliminan los quistes y huevos de helminto, esporas de hongos fitopatógenos y semillas de malezas que pueden encontrarse en el material de partida, dando lugar a un producto higienizado (Román et al., 2013).

**3. Fase de Enfriamiento o Mesófila II.** Agotadas las fuentes de carbono y, en especial el nitrógeno en el material en compostaje, la temperatura desciende nuevamente hasta los 40-45°C. Durante esta fase, continúa la degradación de polímeros como la celulosa, y aparecen algunos hongos visibles a simple vista. Al bajar de 40 °C, los organismos mesófilos reinician su actividad y el pH del medio desciende levemente, aunque en general el pH se mantiene ligeramente alcalino. Esta fase de enfriamiento requiere de varias semanas y puede confundirse con la fase de maduración (Román et al., 2013).

**4. Fase de Maduración.** Es un período que demora meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos (Román et al., 2013).

Los productos de composta pueden considerarse como un acondicionador del suelo tienen concentraciones de nutrientes esenciales relativamente baja de la planta. Se recomienda para ser utilizado inicialmente para jardinería y paisajismo para asegurar la utilización de seguridad (Sreesai et al., 2013).

### **2.13. Los nutrientes esenciales para las plantas**

Las plantas requieren de macro y micronutrientes, cada una de ellas es esencial para una planta completar su ciclo de vida. Disposición adecuada de nutrientes afecta enormemente el crecimiento de las plantas y como tal es de crucial importancia en el



contexto de la agricultura (Maathuis and Diatloff, 2013). Para la mejor comprensión de los aspectos relacionados con la nutrición de los cultivos también es necesario analizar los ciclos y características de los elementos más representativos. Para que un sistema agrícola sea sostenible los nutrientes exportados en la cosecha, deben volver al suelo para ser utilizados por los cultivos siguientes.

La disponibilidad limitada de tierra adicional para la producción agrícola, junto con el descenso del crecimiento de la producción de los principales cultivos, ha aumentado la preocupación sobre la capacidad de la agricultura para alimentar a una población mundial que, según se prevé, superara los 7.500 millones de habitantes en el 2020 (Gruhn et al., 2000). La disminución de la fertilidad del suelo ha planteado asimismo la preocupación sobre la sostenibilidad de la productividad agrícola al nivel actual. Las estrategias futuras para el aumento de la productividad agrícola tendrían que concentrarse en un empleo más eficiente, eficaz y sostenible que en el pasado de los recursos de nutrientes disponibles (Gruhn et al., 2000).

El manejo integrado de los nutrientes necesarios para el crecimiento adecuado de las plantas, junto con la gestión eficaz de los cultivos, el agua, el suelo y la tierra, serán críticos para el sostenimiento a largo plazo de la agricultura (Salas, 2011).

### **2.13.1. Requerimientos nutricionales y extracción del cultivo**

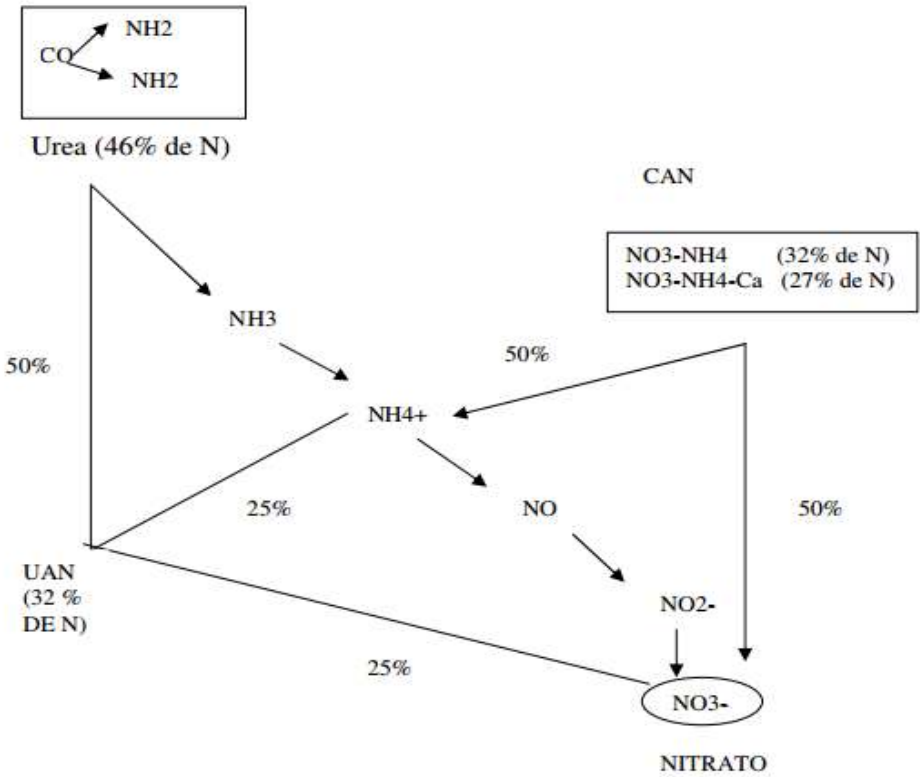
Algo importante que debemos considerar cuando entra el sorgo en la rotación y que es importante para cualquier secuencia de cultivos, son sus requerimientos de nutrientes. Si tomamos el caso del nitrógeno, el sorgo se está llevando del sistema más o menos la mitad del nitrógeno que absorbe y la otra mitad la está devolviendo al suelo con los rastrojos (Fontanetto and Keller, 2012).

### **2.13.2. Fijación de Nitrógeno**

Se ha calculado que el total de N<sub>2</sub> fijado por los microorganismos diazotróficos es del orden de 1011 kg año<sup>-1</sup>, alrededor del 60% del nitrógeno fijado de nuevo en el planeta

Tierra. La luz y la radiación ultravioleta fijan otro 15%, y el 25% restante proviene de procesos industriales. La fijación biológica de nitrógeno se define como la reducción del nitrógeno atmosférico a amonio realizada por un grupo de bacterias, las cuales han evolucionado hacia sistemas enzimáticos complejos para la reducción del  $N_2$  a  $NH_4$ . Estos microbios del suelo incluyen dos variedades: los fijadores de nitrógeno de vida libre que generan amonio para su propio uso y los fijadores de nitrógeno simbióticos que fijan nitrógeno asociados con plantas y proveen a la planta de nitrógeno a cambio de carbono y de un hábitat de protección. Esta última variedad incluye las bacterias Gram negativas: *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Azorhizobium*, que se asocian con algunas plantas leguminosas, bacterias del género *Azospirillum*, *Azotobacter*, que se asocian con plantas de cereales; la bacteria gram positiva *Frankia*, que se asocia con ciertos árboles de crecimiento rápido y cianobacterias, que se asocian con helechos acuáticos. Varios estudios, realizados principalmente en macetas, han demostrado que la simbiosis micorriza arbuscular puede mitigar los efectos negativos del estrés hídrico sobre el crecimiento de las plantas (Saia et al., 2014). La enzima responsable de la reducción de  $N_2$  a  $NH_4$  es el complejo de la nitrogenasa, la cual está formada por tres diferentes polipéptidos. Se han encontrado diferentes sistemas de nitrogenasa en diversos microorganismos, los cuales difieren, por ejemplo, en su especificidad por metales. La meta de la investigación en la fijación biológica de nitrógeno es contribuir al desarrollo de la agricultura (Sosa, 2007). Actualmente, se producen fertilizantes biológicos con *Rhizobium* como inoculantes efectivos para ciertos cultivos de leguminosas, la capacidad de una planta de suministro de todo o parte de sus requisitos de fijación biológica de nitrógeno (BNF) gracias a las interacciones con endosimbiótica, asociativas y endófitos simbiotes, le confiere una gran ventaja competitiva sobre las plantas fijadoras de nitrógeno (Santi et al., 2013).

Figure 2: Diferentes fuentes de Nitrógeno y sus transformaciones en el suelo.



Fuente: (Fontanetto and Keller, 2012).

## **CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3.1. Localización del experimento**

El estudio se llevó a cabo en el Campo Experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro U-L localizado en Torreón, Coahuila, México.

La Comarca Lagunera está entre 101° 41' y 104° 61' O, y 24° 59' y 26° 53' N; tiene una superficie de 47 887 km<sup>2</sup> con una altitud media de 1100 m, con una extensión montañosa y una superficie plana donde se localiza el área agrícola. Su clima es seco desértico, con lluvias en verano e invierno fresco, la precipitación pluvial media anual es 258 mm y la evaporación media anual es 2000 mm, por lo cual la relación precipitación- evaporación es 1:10; la temperatura media anual es 21 °C con máxima de 33.7 °C y mínima 7.5 °C. El periodo de temperaturas bajas o heladas se presentan de noviembre a marzo, aunque en algunas ocasiones se presentan tempranamente en octubre y tardíamente en abril (García, 1973). El Distrito de riego tiene un volumen de agua disponible promedio de 2530 Mm<sup>3</sup>, de los cuales 1278 Mm<sup>3</sup> son fuentes de agua superficiales y 1252 Mm<sup>3</sup> fuentes subterráneas. Los volúmenes de agua superficial son aprovechados en la agricultura mediante reservorios entre los que destacan las presas Lázaro Cárdenas y Francisco Zarco, con una capacidad total de almacenamiento de 3343 y 438 Mm<sup>3</sup>; ambas almacenan agua del río Nazas (Montemayor et al., 2007).

### **3.2. Parcela demostrativa**

El área donde se estableció el experimento es un suelo de textura franco con un pH alcalino. Inicialmente se realizó una limpieza, se aró, y se rastreó el terreno, se trazaron los bordos, a una distancia de 10.5 m, luego se usó la escropa para nivelar el terreno y posteriormente se surcó a una distancia de siembra de 0,75 m entre surco; el método

de dispersión de la semilla fue a chorro corrido en un equivalente de 266,666 plantas  $\text{ha}^{-1}$ . A la siembra no se le aplicó fertilizante. Para el control de malezas se manejó de forma manual con azadón.

### **3.3. Cultivo**

1. Híbrido SU SWEET K0115 *Sorghum bicolor* x *sorghum sudanense* el cual ha demostrado alta en rendimiento, tolerancia a plagas y algunas condiciones de sequía.

### **3.4. Tratamientos**

La parcela A recibió fertilización con composta la cual se aplicó a los 30 días después de la siembra durante el año 2014. Las parcelas establecidas fueron:

T-1: Fertilización cero

T-2: Fertilización con composta ( $13.33 \text{ ton ha}^{-1}$ )

En el ciclo primavera-verano del 2014 (PV 2014) se sembró Sorgo del híbrido SU SWEET K0115.

### **3.5. Manejo agronómico**

#### **3.5.1. Siembra**

En el ciclo PV 2014, el Sorgo se sembró en la última semana de Marzo, a una densidad de 266,666 plantas  $\text{ha}^{-1}$ , el índice de germinación es del 85 %.

Se sembraron 24 surcos de 0.76 m de ancho y 132 m de largo, la cual se dividió en dos tratamientos T-1 y T-2 integrando 12 surcos de los cuales se consideró una parcela útil de 4 surcos centrales x 100 m de largo.

### 3.5.2. Riego

La siembra se realizó en suelo seco, a los dos días se aplicó el riego de aniego con una Lr, de 20.43 cm y posteriormente se aplicaron los tres riegos de auxilio, a los 26, 51, 81 días después de la siembra (DDS), la lámina de riego 16.34, 15.84 y 14.4 respectivamente (Cuadro 5).

**Cuadro 5. Riegos del ciclo de sorgo forrajero P-V del 2014.**

	RIEGOS				Promedio Total
	0	1	2	3	
DDS	2	26	51	81	
Lr cm	20.43	16.34	15.84	14.4	67.1
T minutos	120	90	67	60	337
Q Lts/seg	30	35	45	40	37.5
Volumen gastado (m <sup>3</sup> )	216	189	185	180	770

### 3.5.2. Cosecha

El cultivo se cosechó a los 100 DDS, la cosecha se realizó de manera manual, posteriormente el material se retiró por medio de trilla y se donó al pequeño establo de la UAAAN.

Para estimar la producción de biomasa, se cosechó a mano cuyo el cultivo alcanzó la edad de 75 días, el material fresco se pesó en el lugar de muestreo. De inmediato se procedió a extraer una muestra representativa de 2 kg de planta entera que luego fueron picados a máquina con un tamaño de media pulgada de largo.

El material picado fue pesado en fresco y luego ubicado en una estufa a 60 °C hasta lograr un peso constante. Luego la muestra se molió y tamizó a 1 mm en un molino Wiley para los análisis de laboratorio correspondientes.

### 3.6. Muestreo de suelo

Los muestreos se realizaron antes y después de siembra, a una profundidad de 0-30 cm. Para la primera muestra de suelo se tomaron 6 muestras en zig zag para obtener una muestra compuesta.

Para la muestra de después de la siembra, se tomaron cuatro muestras de cada tratamiento, se mezclaron por separado y se obtuvo una muestra compuesta de cada uno de los tratamientos.

### 3.7. Análisis de suelo

Todos los análisis de suelo se realizaron de acuerdo a los métodos descritos en la Norma Oficial Mexicana, (NOM-021-SEMARNAT, 2000) en el laboratorio de suelos de la UAAAN-UL.

La determinación del **pH** del suelo medido en agua se realizó a través del método AS-02.

Mediante el método electrométrico para la determinación de pH en muestras de suelo en una solución de agua pura. En el caso de los suelos se mide potenciométricamente en la suspensión sobrenadante de una mezcla de relación suelo: agua 1:2.

**Cuadro 6: Para la clasificación del suelo en cuanto a su valor de pH se presenta el cuadro siguiente:**

Clasificación	pH
<b>Fuertemente ácido</b>	Menor 5.0
<b>Moderadamente ácido</b>	5.1 – 6.5
<b>Neutro</b>	6.6 – 7.3
<b>Medianamente alcalino</b>	7.4 – 8.5
<b>Fuertemente alcalino</b>	Mayor 8.5

La determinación  $D_a$  del suelo se realizo a través del método AS-03 utilizando parafina.

La densidad aparente de una muestra de suelo es calculada a partir del conocimiento de dos parámetros: la masa del suelo y el volumen total, es decir, el volumen de los sólidos y el volumen ocupado por el espacio poroso ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

**Cuadro 7: Interpretación de resultados para la Densidad aparente ( $D_a$ ) método AS-05.**

Tipos de suelos	g/cm <sup>3</sup>	
<b>Orgánicos y volcánicos</b>	Menor de 1.00	
<b>Minerales</b>		
<b>Arcillosos</b>	1.00	1.19
<b>Francosos</b>	1.20	1.32
<b>Arenosos</b>	Mayor de 1.32	

La determinación **Materia Orgánica** del suelo se realizo a través del método AS-07, de Walkley y Black.

Este método se basa en la oxidación del carbono orgánico del suelo por medio de una disolución de dicromato de potasio y el calor de reacción que se genera al mezclarla con ácido sulfúrico concentrado. Después de cierto tiempo se espera la mezcla se diluya, se adiciona ácido fosfórico para evitar interferencias de  $\text{Fe}^{3+}$  y el dicromato de potasio residual es valorado con sulfato ferroso. Con este procedimiento se detecta entre un 70 y 84 por ciento del carbón orgánico total por lo que es necesario introducir un factor de corrección, el cual puede variar entre suelo y suelo. En los suelos de México se recomienda utilizar el factor 1.298 (1/0.77).

**Cuadro 8: Interpretación de resultados materia orgánica (MO) método AS-07.**

Clase	Materia orgánica (%)	
	<b>Suelos volcánicos</b>	<b>Suelos no volcánicos</b>
Muy bajo	<b>Menor 4.0</b>	<b>Menor a 0.5</b>
Bajo	<b>4.1 – 6.0</b>	<b>0.6 – 1,5</b>
Medio	<b>6.1 – 10.1</b>	<b>1.6 – 3.5</b>
Alto	<b>11.0 - 16.0</b>	<b>3.6 – 6.0</b>
Muy alto	<b>Mayor 16.1</b>	<b>Mayor de 6.0</b>



La determinación nitrógeno inorgánico **N** del suelo se realizo a través del método AS-08.

Método para la determinación de nitrógeno inorgánico extraíble con el procedimiento micro-Kjeldahal. Se utiliza como índice de disponibilidad de nitrógeno en el suelo. Se realiza su evaluación para generar recomendaciones de fertilización. El nitrógeno inorgánico determinado con este procedimiento a mostrado una alta relación con la respuesta de la planta en estudios de correlación de métodos químicos.

Se basa en la extracción del amonio intercambiable por equilibrio de la muestra de suelo con Cloruro de Potasio (KCl) 2 N y su determinación por destilación mediante arrastre de vapor en presencia de Oxido de Magnesio (MgO).

Se reporta la cantidad de N inorgánico (nitratos + amonio + nitritos) en miligramos por kilogramo de suelo ( $\text{mg Kg}^{-1}$ ). Se recomienda el uso de una cifra decimal.

**Cuadro 9: Los resultados de los análisis de nitrógeno inorgánico pueden interpretarse conforme al siguiente cuadro.**

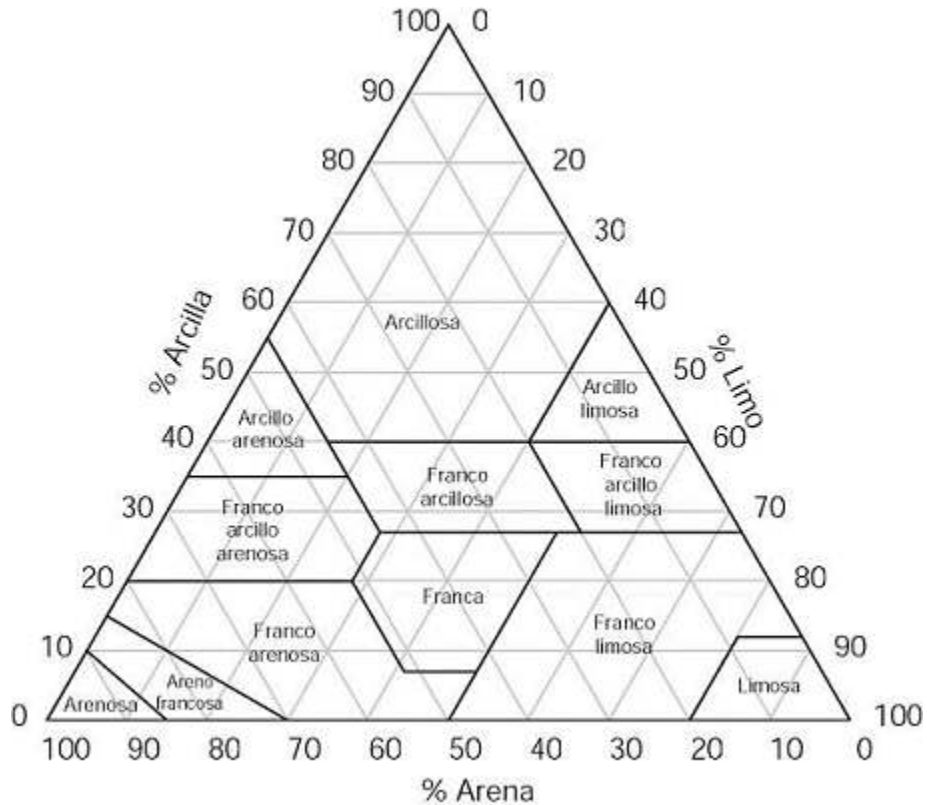
<b>Clase</b>	<b>N inorgánico en el suelo <math>\text{mg Kg}^{-1}</math></b>
<b>Muy bajo</b>	0 -10
<b>Bajo</b>	10 – 20
<b>Medio</b>	20 – 40
<b>Alto</b>	40 – 60
<b>Muy alto</b>	Mayor de 60

Determinación de **Textura del suelo** por el procedimiento de Bouyoucos se realiza a través del método AS-09.

La textura dl suelo se define como la proporción relativa de grupos dimensionales de partículas. Proporciona una idea general de las propiedades físicas del suelo. La determinación es rápida y aproximada. En general el problema es separar los agregados y analizar solo las partículas. En el presente método se elimina la

agregación debida a materia orgánica y la floculación debida a los cationes de calcio y magnesio. El tiempo de lectura se ha escogido de 40 segundos para la separación de partículas mayores de 0.002 mm (limo y arena). Estos límites han sido establecidos por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos y se han usado para construir el triangulo de texturas.

**Figure 3: Se muestra el triangulo de texturas de suelo.**



La determinación de **Fosforo extraible** (soluble) en ácido cítrico al 1% se realiza a través del método AS-26, por colorimetría.

Esta es una determinación antigua de P aprovechable. El método es aun necesario para usarse en la determinación del contenido de P del "horizonte fímico" (requerido en la Leyenda revisada del Mapa Mundial de Suelos, FAO/UNESCO/ISRIC) y el epipedón antrópico (en la Taxonomía de Suelos). Este también se usa, en arqueología y en control de la calidad de fertilizantes. La muestra extractada con una solución de ácido

cítrico al 1%. Los fosfatos en el extracto son determinados colorimétricamente con el método de azul de molibdeno, con ácido ascórbico como agente reductor.

**Cuadro 10: los resultados de P por colorimetría pueden interpretarse en base al siguiente cuadro.**

<b>Clase</b>	<b>Mg Kg<sup>-1</sup> de P</b>
<b>Bajo</b>	Menor de 5.5
<b>Medio</b>	5.5 – 11
<b>Alto</b>	Mayor de 11

### **3.8. Variables a evaluar**

Se evaluarán las variables: rendimiento de materia verde, materia seca y contenido de nutrientes en el suelo antes y después de la siembra.

La cosecha de las parcelas se realizó cuando el grano se encontraba en la fase lechosa, es decir, alrededor de los 78 días después de la germinación para medir los rendimientos de materia verde (MV) Ton Ha<sup>-1</sup>.

Para determinar rendimiento de materia verde, en cada parcela experimental se cortaron las plantas a 5 cm del suelo y se seleccionaron al azar 10 plantas por parcela, para determinar materia seca (MS) Ton Ha<sup>-1</sup>. Las muestras se secaron en estufa a 75 °C hasta alcanzar el peso constante y se molieron y se pesaron en una báscula analítica.

Para determinar las propiedades fisicoquímicas del suelo antes y después de la siembra se tomó una muestra compuesta de cada una de las parcelas a una profundidad de 0-30 cm. Se secó al aire y se envió al laboratorio de suelos de la UAAAN- UL, para realizar los análisis correspondientes: potencial de Hidrógeno (pH), para la Densidad aparente (Da) se lee (g/cm<sup>3</sup>), para la Materia Orgánica (MO) por el método de Walkley y Black que se lee en (%), Textura por el procedimiento de

Bouyoucos, y se emplea el triangulo de texturas, para el Nitrógeno inorgánico (N) por el método de micro-Kjeldahal que se lee en  $\text{mg Kg}^{-1}$ , para el Fosforo (P) por el método de colorimetría y se lee en ppm, para el Calcio (Ca) y el Magnesio (Mg) por diferencia mediante el método de titulación con EDTA al 0.02 N con el cual se interpreta en  $\text{meq Lto}^{-1}$ .

## CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1. Análisis del compost

El análisis de resultados del compost empleado se muestra en el (Cuadro 11) donde el contenido de N, P, Ca y Mg son similares a los encontrados por (León, 2010) en estiércol de ganado bovino al utilizar el cultivo de maíz para evaluar el efecto residual del P en suelos de textura arenosa. Siendo superiores ambos resultados a los obtenidos por (Olivares *et al.*, 2012), en compost elaborado a partir de estiércol de ganado vacuno lechero como fertilizante y mejorador de suelos.

**Cuadro 11. Composición química del compost empleado, UAAAN-UL, Laboratorio de suelos 2014.**

	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>MO</b>
	mg Kg <sup>-1</sup>	mg Kg <sup>-1</sup>	meq Lto <sup>-1</sup>	meq Lto <sup>-1</sup>	(%)
<b>Composta</b>	0.73	78.14	4.42	0.89	17.61

De acuerdo con (Jaramillo, 2012), en cuanto a las características físico-químicas del compost presento resultados similares con un pH fuertemente alcalino y una conductividad eléctrica elevada. Presenta niveles de fósforo y sodio elevado, calcio y magnesio normales y bajo contenido de nitrógeno. En este estudio el uso de composta elaborada a partir de estiércol vacuno mostraron un mejor aporte de micronutrientes para el suelo donde se estableció el cultivo de sorgo en relación con el testigo.

Sin embargo, se debe resaltar que la composta puede mejorar una gran cantidad de características del suelo, permitiendo mejorar los suelos agrícolas, incluyendo los suelos de zonas áridas y semiáridas, que en general presentan pobreza de fertilidad, materia orgánica, nutrientes, capacidad de retención de agua y pH alto.

Por otro lado (Olivares *et al.*, 2012) afirma que la disponibilidad de los nutrientes en los abonos orgánicos no depende de su contenido total en el material, sino de la dinámica del proceso; así algunos elementos pueden llegar a estar más disponibles por efecto del pH, de la humedad y de la aireación; o en los compostajes sin lombrices, por la temperatura alcanzada que permite el desarrollo de organismos especializados.

#### **4.2. Características físicas en suelo**

No se presentaron diferencias significativas en los valores de Da y pH entre los tratamientos de fertilización orgánica y fertilización cero (Cuadro 12). La conductividad eléctrica se mantuvo normal para los dos tratamientos.

Respecto al efecto de la fertilización en el contenido de MO del suelo, los tratamientos T-1 y T-2, tuvieron un incremento contenido de materia orgánica siendo significativo para el T2 aumento de 0.72 a 1.61 lo cual aún se considera bajo y hay necesidad de elevarlo al 2 % de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana, NOM-021-SEMARNAT (NOM-021-SEMARNAT, 2000).

**Cuadro 12. Características fisicoquímicas del suelo empleado antes y después de la siembra, UAAAN-UL. Laboratorio de suelos 2014.**

Característica	Unidad	AS	DS	
			T1	T2
Arena	(%)	45.2	55	26
Arcilla	(%)	22.2	29	30
Limo	(%)	32.6	16	44
pH		7.98	7.81	8.08
Materia Orgánica	(%)	0.72	0.94	1.61
Densidad aparente	(g cm <sup>3</sup> -1)	1.136	0.98	1.02

AS= Antes de la Siembra DS= Después de la Siembra T1= Fertilización Cero T2= Fertilización con composta.

#### 4.3. Contenido nutricional en suelo

La concentración de macro y micronutrientes en suelo se muestra en la (Cuadro 13). El suelo fertilizado con composta (T-2) presento valores diferentes al testigo con contenidos más altos en P con 7.4 mg kg<sup>-1</sup>, Los resultados de este experimento son similares a los que reporta (García *et al.*, 2010) en donde el estiércol aportó grandes cantidades de fósforo aplico una dosis de 20 ton ha<sup>-1</sup> de estiércol, con una concentración inicial en el estrato de 0-30 cm de 1.5 mg kg<sup>-1</sup> antes de la siembra y con una concentración final de 20.0 mg kg<sup>-1</sup>, es decir al final del ciclo, obteniendo un efecto residual para el siguiente ciclo.

**Cuadro 13. Contenido nutricional del suelo empleado.**

Característica	Unidad	AS	DS	
			T1	T2
<b>Conductividad Eléctrica</b>	(dS cm <sup>-1</sup> )	1.44	1.31	1.42
<b>Contenido de P</b>	Mg kg <sup>-1</sup>	4.0	6.6	7.36
<b>Contenido de Nitrógeno inorgánico</b>	Mg kg <sup>-1</sup>	0.11	0.084	0.112
<b>Ca</b>	Mg kg <sup>-1</sup>	--	4	5.2
<b>Mg</b>	Mg kg <sup>-1</sup>	--	3.6	0.8

AS= Antes de la Siembra DS= Después de la Siembra T1= Fertilización Cero T2= Fertilización con composta.

Por otra parte el N se mantuvo con la misma concentración destacando que la maleza generada en el tratamiento al ser controlada de manera manual se dejó sobre el surco la cual posiblemente tubo efecto en el contenido de N arrojó los presentes resultados.

En el caso del Mg el tratamiento T-2 fertilizado con compost presentó diferencia con un valor más bajo respecto al testigo, pero mayor en el contenido de Ca debido a la baja precipitación en regiones áridas y semiáridas casi siempre se encuentra formando parte de la fase sólida del suelo, considerando la fertilidad del suelo ya que alto contenido de calcita (CaCO<sub>3</sub>), puede inducir deficiencias de fósforo, zinc, hierro y/o manganeso en los cultivos (NOM-021-SEMARNAT, 2000).

#### **4.4. Altura de la planta**

La altura de la planta alcanzada en los tratamientos evaluados se presenta en la (Cuadro 14). El análisis de indica que no destaco diferencia significativa entre los tratamientos resultados similares encontrado por (González et al., 2005), lo cual puede ser resultado de la evaluación de un solo híbrido empleado en este experimento.



**Cuadro 14. Promedio de altura y número de hojas en ambos tratamientos a los 78 DDS.**

Variables	Ciclo P-V	
	Composta	Fertilización Cero
Altura	2.20	1.95
Hojas	8.1	7.7

#### 4.5. Producción de Materia Verde

La producción de materia verde vario entre 41.60 y 35.16 t ha<sup>-1</sup> y para MS de 22.14 t ha<sup>-1</sup> y 18.26 t ha<sup>-1</sup> respectivamente, estos resultados fueron inferiores a los obtenidos por (González et al., 2005), quienes reportaron la influencia del medio ambiente sobre los rendimientos de materia verde en sorgo forrajero, además reportaron rendimientos superiores en Sudan Croos con 49.89 ton ha<sup>-1</sup> MV 22.17 ton ha<sup>-1</sup> MS respectivamente (Cuadro 15).

**Cuadro 15. Producción de materia verde (MV) y materia seca, y contenidos porcentuales de MS, laboratorio de suelos UAAAN-UL 2014.**

Parcela	MV (ton/ha)	MS (ton/ha)	MS (%)
A	41.607	22.143	15,67
B	35.16	18.26	13,16

Los rendimientos del sorgo como forraje en MS varían entre límites muy amplios: de 9 a 20 t/ha en áreas , dependiendo de la variedad, el régimen de humedad del suelo, los fertilizantes utilizados y el estado de crecimiento al cual la planta es cosechada es importante señala que los cultivares fueron cosechados en la segunda fase de grano

lechoso, es decir, a los 75 días después de la emergencia de la planta ya que existe tendencia al incremento de rendimiento en fase de desarrollo, esto basado en algunas observaciones y resultados tales como las de Unger (1988) citado por (García *et al.*, 2010), quien encontró diferencias altamente significativas en cuanto a los rendimientos en fase de prefloración y grano lechoso.

Los rendimientos de materia seca obtenidos en este estudio concuerdan con los encontrados por quienes encontraron incrementos en el rendimiento de materia seca a medida que la planta se acercaba a la madures fisiológica (Núñez and Cantú, 2000). Estos mismos autores afirman que la lignificación de las paredes celulares de las plantas ha sido considerada como el principal factor que limita la digestibilidad de los forrajes, mencionándose correlaciones negativas entre la digestibilidad de forrajes y la concentración de lignina.

## CAPITULO V CONCLUSIÓN

Mediante la aplicación de compost como abono ecológico, se encontraron resultados con alto rendimiento en el sorgo forrajero, lo que indica una buena disponibilidad de los nutrientes para él cultivo, a corto plazo, mejorando las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y aumentando la posibilidad de ganancia económica de lo que se cultiva, siempre y cuando, el cultivo mantenga un precio justo en el mercado, o bien, el productor emplee las políticas de venta por contrato, a manera de asegurar su producción y trabajo.

En base a las condiciones en que fue conducido este estudio y resultados obtenidos, se concluye que:

- El mejor desarrollo de planta se obtuvo con fertilización ecológica de compost.
- El mejor rendimiento se obtuvo utilizando el compost (22.14 Ton Ha<sup>-1</sup>).
- En acuerdo con (García et al., 2010) por todo lo anterior el compost representa una alternativa muy atractiva en la actividad agrícola.
- La aplicación de fertilizante ecológico resulta en un incremento en la concentración de nutrientes y de materia orgánica en el suelo.
- Diferentes dosis de compost deben ser evaluadas para alcanzar los niveles de suficiencia del cultivo

## CAPITULO VI LITERATURA CITADA

- ADUGNA, A. 2013. Ecotypic variation for seed dormancy, longevity and germination requirements in wild/weedy Sorghum bicolor in Ethiopia: implications for seed mediated transgene dispersal and persistence. *Springerplus*, 2, 248.
- ADUGNA, A., SWEENEY, P. M. & BEKELE, E. 2013. Estimation of in situ mating systems in wild sorghum (Sorghum bicolor (L.) Moench) in Ethiopia using SSR-based progeny array data: implications for the spread of crop genes into the wild. *J Genet*, 92, 3-10.
- AGROLAB 2010. Laboratorios de Agricultura. *Revista Científica*, FCV-LUZ, 12 pag.
- BESNIER, F. 1996. Sorgos forrajeros y Pasto del Sudán. *N 24*, 12, pag.
- FAO 2002. Modelo productivo de sorgo en el estado de tamaulipas. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*, 23.
- FLORES, A., VALDEZ, G., ZAVALA, F., OLIVARES, E., GUTIÉRREZ, A. & VÁZQUEZ, M. 2013. Comportamiento agronómico de líneas para la producción de semilla de sorgo. *AGRONOMÍA MESOAMERICANA*, 24(1):111-118, 1,8.
- FONTANETTO, H. & KELLER, O. 2012. Fertilización en Sorgo. *INTA*, 5 pag.
- FORTURBEL, F., ANCHÁ, D. & MONDACA, D. 2007. *Manual de Introducción a la Botánica. Ed. Publicaciones Integrales, La Paz.*, 2 edición. , 52p.
- GARCÍA, J., ORONA, I., SALAZAR, E., FORTIS, M. & TREJO, H. 2010. Agricultura Orgánica, Tercera parte. *Primera edición*, Universidad Juárez del Estado de Durango, 1-438.
- GONZÁLEZ, R., Y., W. & G., Y. 2005. Comportamiento de Nueve Cultivares de Sorgo Forrajero en Portuguesa, Venezuela. *Primera Edición*, 1-12.
- GRANILLO, R. 2006. Sorgo Híbrido Forrajero Multicortes "CENTA SS-44". *Boletín Técnico*, , No. 16, 10 pag.
- GRUHN, P., GOLETTI, F. & YUDELMAN, M. 2000. Manejo Integrado de Nutrientes, Fertilidad del Suelo y Agricultura Sostenible. No. 67.
- JARAMILLO, C. X. 2012. Evaluación Agronómica de un Suelo Calizo Enmendado con Composts de Alperujo. *Master En Ciencias Agrarias Enfoque Suelos*, Pag. 1-98.
- KATARIA, S. & GURUPRASAD, K. 2012. Intraspecific variations in growth, yield and photosynthesis of sorghum varieties to ambient UV (280-400 nm) radiation. *Plant Sci*, 196, 85-92.

- LEÓN, J. 2010. Efecto Residual del Estiércol en el Fósforo y en la Producción Forrajera de Maíz y Avena en un Suelo de Textura Arenosa. *Tesis Doctoral*, Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de: Ingeniero en Agroecología, 27.
- LIU, J., BERGKVIST, G. & ULÉN, B. 2015. Biomass production and phosphorus retention by catch crops on clayey soils in southern and central Sweden. *Field Crops Res*, 171, 130-137.
- MAATHUIS, F. J. & DIATLOFF, E. 2013. Roles and functions of plant mineral nutrients. *Methods Mol Biol*, 953, 1-21.
- MÁRQUEZ, C., RÍOS, C., CHEW, Y., MORENO, A. & RODRÍGUEZ, N. 2006. Sustratos en la Producción Orgánica de Tomate Cherry Bajo Invernadero. 1-6.
- MARTÍNEZ, J. & RODRÍGUEZ. 2005. Guía para cultivar sorgo forrajero de riego para pastoreo, verdeo y henificado en el norte y centro de Coahuila. *Folleto para Productores No. 7*, 1-12 pag.
- MEZA, R. 2009. Guía técnica para producción de sorgo en la zona de temporal del municipio de Culiacán, Sinaloa. *Centro de Validación y Transferencia de Tecnología de Sinaloa A.C. (CVTTS)*, Pag. 17.
- MONTEMAYOR, J., LARA, J., WOO, J., MUNGUÍA, J., RIVERA, M., & TRUCÍOS, R. 2007. Forage Maize (*Zea Mays* L.) Production in Three Irrigation Systems in the Comarca Lagunera of Coahuila and Durango, México. *Cenid-Raspa Inifap*, No. 1. , 6 Pag.
- MOTONAMI, N., UENO, K., NAKASHIMA, H., NOMURA, S., MIZUTANI, M., TAKIKAWA, H. & SUGIMOTO, Y. 2013. The bioconversion of 5-deoxystrigol to sorgomol by the sorghum, *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *Phytochemistry*, 93, 41-8.
- NOM-021-SEMARNAT, N. O. M. 2000. Que Establece las Especificaciones de Fertilidad, Salinidad y Clasificación de Suelos, Estudio, Muestreo y Análisis. 1, 85.
- NÚÑEZ, G. Y. & CANTÚ, J. 2000. Producción, composición química y digestibilidad del forraje de sorgo x Sudán de nervadura café en la región norte de México. *Técnica Pecuaria en México*, vol. 38, núm. 3.
- OLIVARES, M., HERNÁNDEZ, A., VENCES, C., JÁQUEZ, J. & BARRIOS, O. 2012. Lombricomposta y Composta de Estiércol de Ganado Vacuno Lechero como Fertilizantes y Mejoradores de Suelo. (*Maoc*)(*Ahr*)(*Cvc*)(*Jljb*)(*Dob*) *Facultad de Ciencias Agrotecnológicas Universidad Autónoma de Chihuahua V. Carranza y Escorza S/N. Col. Centro. 31000 Chihuahua, Chihuahua, México Apartado Postal 24 aernande@uach.mx*, 28(1):27-37, pag. 1-12.

- PÉREZ, A., SAUCEDO, O., IGLESIAS, J., WENCOMO, B., REYES, F., OQUENDO, G. & MILIÁNI. 2010. Caracterización y potencialidades del grano de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Pastos y Forrajes*, Vol. 33, No. 1, pag. 1-26.
- PHOLSEN, S. & SUKSRI, A. 2007. Effects of phosphorus and potassium on growth, yield and fodder quality of IS 23585 forage sorghum cultivar (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Pak J Biol Sci*, 10, 1604-10.
- PRICE, G., ZENG, J. & ARNOLD, P. 2013. Influence of agricultural wastes and a finished compost on the decomposition of slaughterhouse waste composts. *J Environ Manage*, 130, 248-54.
- RESTREPO, J., ANGEL, D. & PRAGER, M. 2000. Actualización Profesional en Manejo de Recursos Naturales, Agricultura Sostenible y Pobreza Rural. 1-134.
- RIBEIRO, L., RODRIGUEZ, N., GONCALVES, L. & ASSIS, D. 2007. Consideraciones sobre ensilaje de sorgo. *Jornada sobre Producción y Utilización de Ensilajes*, 112 pag.
- RIBÓ, M. 2003. Balance de Macronutrientes y Materia Orgánica en el Suelo de Agrosistemas Hortícolas con Manejo Integrado y Ecológico. *Tesis Doctoral*, 185 pag.
- RODRÍGUEZ, A. 2007. Formación de variedades o híbridos de sorgo escobero. *Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Torreón Coahuila, México*, 442.
- ROMÁN, P., MARTÍNEZ, M. & P., P. 2013. Manual de Compostaje del Agricultor. *Experiencias en América Latina*, , Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura 112.
- ROMERO, L., ARONNA, S. & COMERÓN, E. 2002. El Sorgo Forrajero ¿Puede ser un Buen Sustituto del Maíz? . *Sitio Argentino de Producción Animal, INTA EEA Rafaela*, Página 1 de 4.
- SAGARPA 2014. Producción Orgánica. *Secretaría de Agricultura, Gandería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación*, 1 pag.
- SAIA, S., AMATO, G., FRENDA, A. S., GIAMBALVO, D. & RUISI, P. 2014. Influence of arbuscular mycorrhizae on biomass production and nitrogen fixation of berseem clover plants subjected to water stress. *PLoS One*, 9, e90738.
- SALAS, L. 2011. Antioxidantes en Maíz Forrajero Bajo Fertilización Orgánica. *Doctorado en Ciencias Agrarias*, , pag. 1-74.
- SÁNCHEZ, A. 2011. Conceptos básicos de gestión ambiental y desarrollo sustentable. *Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT*, 188.

- SANTAMARÍA, J., RETA, D., CHÁVEZ, J., CUETO, J. & ROMERO, J. 2006. Caracterización del Medio Físico en Relación a los Cultivos Forrajeros Alternativos para la Comarca Lagunera. *Libro Técnico*, Núm. 2, 254 pag.
- SANTI, C., BOGUSZ, D. & FRANCHE, C. 2013. Biological nitrogen fixation in non-legume plants. *Ann Bot*, 111, 743-67.
- SIAP 2014. Sistema de Información Estadística Agroalimentaria y Pesquera. 2.
- SOSA, E. S. 2007. Uso y Aprovechamiento de Abonos Orgánicos e Inocuidad. *Gómez Palacio Durando, México, Facultad de Agricultura y Zootecnia de la UJED,, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, COCyTED,, 1-617.*
- SREESAI, S., PEAPUENG, P., TIPPAYAMONGKONKUN, T. & STHIANNOPKAO, S. 2013. Assessment of a potential agricultural application of Bangkok-digested sewage sludge and finished compost products. *Waste Manag Res*, 31, 925-36.
- SZTERN, D. & PRAVIA, M. 2013. Manual para da Elaboracion De Compost Bases Conceptuales y Procedimientos. *OPS/HEP/HES/URU/02.99* pag. 17-19. .
- TERESO, M. J., ABRAHAO, R. F., GEMMA, S. F., MONTEDO, U. B., MENEGON, N. L., GUARNETI, J. E. & RIBEIRO, I. A. 2012. Work and technological innovation in organic agriculture. *Work*, 41 Suppl 1, 4975, 8.
- VANLAUWE, B., WENDT, J., GILLER, K. E., CORBEELS, M. & GERAR, B. 2014. Fertiliser use is not required as a fourth principle to define conservation agriculture. *Field Crops Res*, 167, 159.
- ZAMORANO, J. & RIOS, H. 2005. Evolución y Perspectivas de la Agricultura Orgánica en México. *Rev. Claridades Agropecuarias*, No. 140. Abril. ASERCA. México, D.F, 1-58.
- ZELEDÓN, H., HERNÁNDEZ, M., AYALA, J., GUZMÁN, R., BORJA, A., ALVARADO, M. & CALDERÓN, V. 2012. Guía Técnica del Sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench). *Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal*, 1-40.
- ZHEN, Z., LIU, H., WANG, N., GUO, L., MENG, J., DING, N., WU, G. & JIANG, G. 2014. Effects of manure compost application on soil microbial community diversity and soil microenvironments in a temperate cropland in China. *PLoS One*, 9, e108555.